

Разработка цифрового модуля газовых датчиков для систем промышленной безопасности

А.В. Суханов

НПК «Технологический центр», Зеленоград

Аннотация: В статье рассматривается разработка беспроводной системы мониторинга для контроля токсичных и горючих газов для решения актуальной задачи автоматизированного контроля газовой среды на опасных производственных объектах. Описана архитектура системы мониторинга, которая состоит из беспроводных газоанализаторов с подключенными выносными цифровыми модулями. В статье рассмотрены конструктивно-схемотехнические решения по разработке цифрового модуля газовых датчиков, в состав которого входит: микроконтроллер, приемопередатчик RS-485, интегрированный источник питания на основе импульсного преобразователя, блок с цифровыми газовыми датчиками. Рассмотрен принцип комбинированной защиты от электростатики и микросекундных помех, а также концепция цифровых газовых сенсоров с чувствительными элементами различного физического типа. Разработанный модуль позволяет выявлять в атмосфере взрывоопасные и токсичные газы, и может использоваться в системах предотвращения аварийных ситуаций на производстве совместно с исполнительными устройствами.

Ключевые слова: система мониторинга, производственная безопасность, газовый датчик, интеллектуальный цифровой датчик, zigbee, микросборка, RS-485, токсичный газ, взрывоопасный газ.

Введение

Задача предупреждения и предотвращения опасных ситуаций, связанных с наличием горючих и токсичных газов в атмосфере, является актуальной и своевременной. В настоящее время на крупных производственных объектах химической промышленности используются проводные автоматизированные системы контроля токсичных и взрывоопасных газов. В технологических процессах, связанных с добычей, транспортировкой, переработкой, получением, хранением и применением горючих и токсичных газов, всегда имеется высокая вероятность образования взрывоопасных и токсичных смесей [1]. Высокая концентрация горючих газов может привести к воспламенению или взрыву, когда содержание газа в воздухе находится между нижним и верхним концентрационным пределом воспламеняемости [2]. Высокая концентрация токсичного газа выше

установленной предельно допустимой концентрации (ПДК) в производственных помещениях может быть причиной тяжёлого отравления персонала. В России в настоящее время причинами взрывов и отравлений наиболее часто является грубое нарушение правил безопасной эксплуатации оборудования, отсутствие контроля над технологическими процессами, а также иногда низкий уровень квалификации рабочего персонала.

Таким образом, в России задача автоматизированного контроля газовой среды на объектах промышленности является очень актуальной. Актуальность, в том числе подтверждается федеральным законом №116 о промышленной безопасности опасных производственных объектов.

На современных западных промышленных предприятиях устанавливают автоматизированные системы обнаружения токсичных и взрывоопасных газов. Такие системы, состоящие из газоанализаторов, контроллеров, устройств оповещения и исполнительных устройств, выполняют функции раннего предупреждения о развитии опасной ситуации. Тем самым системы обнаружения газов позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а также увеличивают период времени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций. Для её решения необходимо постоянно совершенствовать существующие газоанализаторы - повышать их надежность, точность измерения концентраций, а также универсальность и легкость в эксплуатации. В результате, актуальной задачей является разработка комплексных газоанализаторов, удовлетворяющих современным требованиям по быстрдействию и точности, стабильно функционирующих в условиях возмущающих факторов внешней среды [3].

Беспроводная система мониторинга

Для обнаружения утечек токсичных и горючих газов на производственных объектах разработана специальная система на основе

беспроводных газоанализаторов. Беспроводная система мониторинга стандарта IEEE 802.15.4 состоит из сетевого координатора, маршрутизатора и конечного устройства [4,5]. В топологии сети маршрутизатор и конечное устройство представляют собой многоканальные и энергонезависимые газоанализаторы. Стандарт IEEE 802.15.4 ZigBee позволяет обеспечивать передачу данных на больших расстояниях при низком энергопотреблении приемопередатчиков [6]. Особенность стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee состоит в том, что для повышения дальности связи устройства поддерживают функции ретрансляции и маршрутизации. Архитектура системы мониторинга представлена на рис.1.

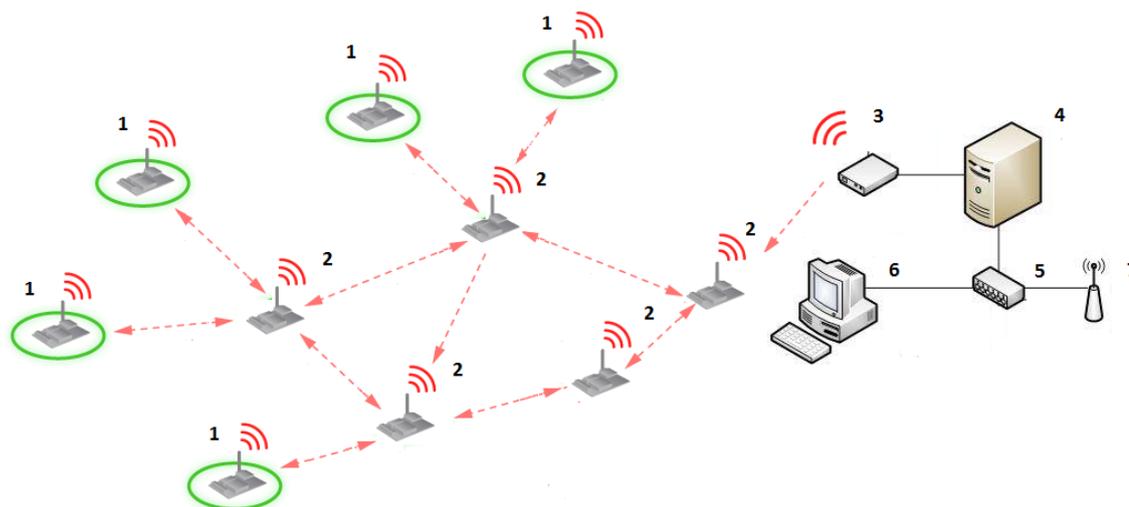


Рис. 1. — Архитектура системы мониторинга утечек газов

1- конечный узел; 2 - маршрутизатор; 3 – координатор; 4 – сервер; 5 – сетевые устройства локальной сети; 6 – ПК оператора; 7 – общая система оповещения

Разработанная система мониторинга на основе беспроводных энергонезависимых газоанализаторов предназначена для измерения концентрации токсичных и горючих газов, сигнализации превышения уровней концентрации и управления исполнительными элементами систем вентиляции, звуковой и световой сигнализации и автоматики. Основными

компонентами в системе мониторинга являются многоканальные беспроводные энергонезависимые газоанализаторы, каждый из которых состоит из: источника питания с аккумуляторами, ZigBee приемопередатчика, управляющего микроконтроллера, микросборки силовых ключей, блока гальванической развязки с драйверами цифровых интерфейсов RS-485, USB. К беспроводным газоанализаторам подключаются специализированные цифровые модули газовых датчиков. В свою очередь многоканальный беспроводной газоанализатор обеспечивает питание для выносных цифровых датчиков, обработку сигнала и индикацию измеренных концентраций газа, прием и передачу данных в беспроводную сеть, срабатывание устройств аварийной сигнализации при достижении пороговых значений концентраций измеряемых газов и диагностического самоконтроля.

Цифровой модуль газовых датчиков

Правильное размещение газовых сенсоров различного физического типа является залогом эффективной работы системы мониторинга. В настоящее время наиболее хорошо себя зарекомендовали многоканальные цифровые модули с интерфейсом RS-485, которые подключаются к стационарным, либо мобильным устройствам. На рис.2 представлен внешний вид разработанного цифрового модуля газовых датчиков для беспроводных газоанализаторов и для промышленных стационарных систем существующего вида.



Рис. 2. — Внешний вид цифрового газового модуля с 4 датчиками

Выносные газовые модули устанавливают вблизи зоны возможного газовыделения и подключают к беспроводному газоанализатору. Высота установки выносного модуля полностью зависит от физических свойств контролируемых газов. Поскольку газы, более тяжёлые, чем воздух (диоксид углерода, пропан, хлор и др.), будут скапливаться в нижней части помещения, то чувствительные элементы устанавливают на высоте не более 1 метра от пола. Более лёгкие газы будут подниматься в верхнюю часть помещения и датчики надо ставить вблизи потолка. Для газов, имеющих плотность близкую к воздуху, место расположения может быть любое. Для токсичных газов датчики располагают на уровне дыхания человека. При получении информации и ее интерпретации с выносного газового модуля требуется руководствоваться общими санитарно-гигиеническими требованиями к воздуху рабочей зоны ГОСТ 12.1-005-88. Подключать цифровой модуль газовый датчиков можно только в взрывобезопасной

атмосфере. На реальном объекте количество блоков датчиков и их расположение определяется проектом и нормативными документами.

Каждый выносной цифровой модуль газовых датчиков соединен с автономным основным газоанализатором при помощи витой пары, по которой осуществляется питание и передача служебной информации по стандарту RS-485. Использование стандарта RS-485 для передачи данных между беспроводным энергонезависимым газоанализатором и выносным датчиком позволяет реализовать недорогую и надёжную передачу данных в среде с высоким уровнем шума и неблагоприятными условиями, такими как помещения с большим количеством промышленных установок. Уменьшение восприимчивости к внешним помехам на шине RS-485 достигается благодаря дифференциальному способу передачи сигналов.

В состав цифрового модуля входит: микроконтроллер, приемопередатчик RS-485, интегрированный источник питания, блок с цифровыми газовыми датчиками. В настоящее время при разработке цифрового газового модуля требуется строго учитывать энергопотребление всех входящих в него компонентов для увеличения времени автономной работы системы. Практически все электронные компоненты, которые были созданы более 5 лет назад не подходят к применению в автономных устройствах из-за высокого уровня энергопотребления.

На рис.3 представлена электрическая схема интегрированного источника питания, реализованная в разработанном модуле.

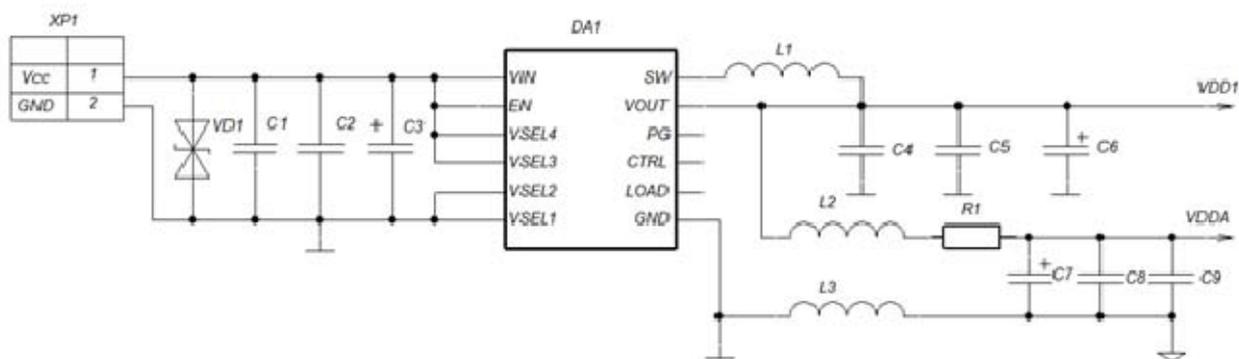


Рис. 3. — Часть схемы электрической принципиальной источника питания

Интегрированный источник питания цифрового модуля получает внешнюю энергию по витой паре длиной не более 10 метров от беспроводного газоанализатора и формирует на выходе постоянное аналоговое и цифровое питание 3В для управляющего микроконтроллера, газовых датчиков, микросхемы драйвера RS-485. На стороне беспроводного газоанализатора, к которому подключаются цифровые выносные модули, установлен блок гальванической развязки для защиты основного изделия. На входе источника питания установлены конденсаторы и специализированный супрессор (VD1) для подавления импульсных помех. В разработанном источнике питания использован импульсный регулятор напряжения (DA1 в схеме) TPS62740. Миниатюрный импульсный регулятор имеет собственный ток потребления всего 360нА, его коэффициент полезного действия (КПД) преобразования достигает 95% при номинальной нагрузке до 100мА [7]. Такие показатели достигаются за счёт использования архитектуры управления DCS-Control, объединяющей в себе преимущества гистерезисного управления и режима управления по напряжению [8]. Выходное напряжение импульсного регулятора напряжения задается четырехбитным сочетанием. Фильтрация помех осуществляется как по

питанию (L2), так и по общему проводу (L3). Антизвонный резистор R1 служит плавким предохранителем, а конденсаторы различной емкости (C4-C9) подавляют высокочастотные и низкочастотные помехи на цифровой и аналоговой линии питания. Использование именно такого регулятора позволяет уменьшить энергопотребление модуля в несколько раз, так как цифровые газовые датчики имеют импульсный режим работы. В импульсном режиме работы большее количество времени цифровые газовые датчики находятся в «спящем режиме», и лишь просыпаются по таймеру раз в 15-30 секунд для измерения концентрации токсичных и взрывоопасных газов.

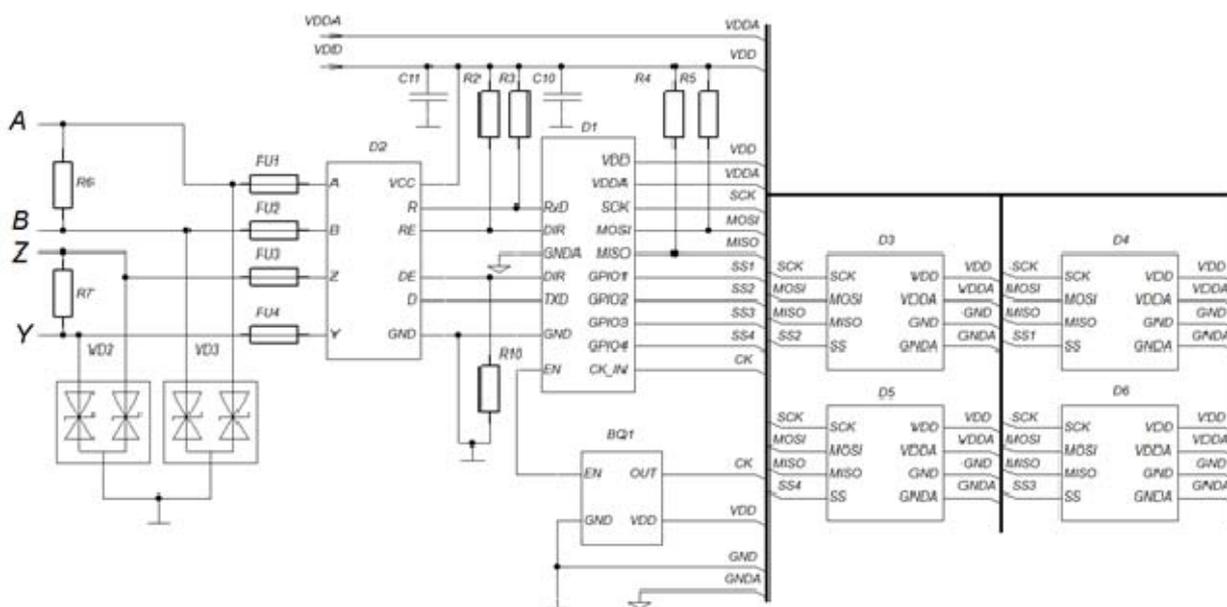


Рис. 4. - Часть схемы электрической принципиальной. Цифровая часть газового модуля

На рис.4 представлена основная часть электрической схемы цифрового модуля газовых датчиков. Главным в схеме является управляющий 32-разрядный малопотребляющий микроконтроллер (D1) серии STM32L0, который работает с 4 цифровыми газовыми датчиками (D3-D6) при помощи SPI - последовательного синхронного интерфейса передачи данных в режиме полного дуплекса.

Управляющий микроконтроллер работает с цифровыми газовыми датчиками, которые содержат чувствительные элементы различного типа — полупроводниковые, электрохимические, термокаталитические и оптические. Концепция цифровых интеллектуальных сенсоров предлагает использование вместо аналоговых чувствительных элементов, цифровых законченных датчиков с интеллектуальными алгоритмами самокоррекции и самокалибровки. Цифровые газовые датчики (ЦГД) с интерфейсом SPI, созданные на основе этой концепции, обеспечивают нормированный выходной сигнал, автоматическую температурную коррекцию и самодиагностику. Использование ЦГД позволяет значительно упростить использование готовой системы, так как все необходимые данные содержатся уже в памяти датчика и могут быть прочитаны с помощью специальных команд протокола SPI. Протокол состоит из запроса управляющего микроконтроллера системы и ответа датчика. Запрос состоит из поля стартового байта, байтов команды, байтов данных и контрольной суммы. Ответ сенсора состоит из стартовых байтов, байтов состояния сенсора, байтов данных и контрольной суммы. В состав разработанного ЦГД входит: управляющий миниатюрный микроконтроллер, блок аналоговой обработки, содержащий операционные усилители, аналоговый чувствительный элемент.

Используя асинхронный интерфейс UART, микроконтроллер работает с микросхемой драйвера (D2) RS-485, получая и передавая данные беспроводному газоанализатору. Драйвер RS-485 SN65HVD147х со скоростью передачи данных 50 Мбит/с, обеспечивает защиту от электростатического разряда до 16 кВ, и имеет малый собственный ток потребления – менее 1 мА в активном режиме и от 10 нА в спящем [9]. Для обеспечения надежной передачи данных беспроводному газоанализатору по шине RS-485 использован принцип комбинированной защиты от

электростатики и микросекундных помех. Принцип комбинированной защиты заключается в следующем: при всплеске напряжения первым срабатывает быстродействующие супрессоры (VD2, VD3), срабатывание супрессоров приводит к увеличению тока через быстродействующие самовосстанавливающийся защитные компоненты (БСЗК), при превышении тока максимального уровня БСЗК разрывает цепь, создавая барьер для дальнейшего распространения помехи. Основную часть оставшейся помехи рассеивает на себе первичные супрессоры. После завершения действия импульса помехи БСЗК возвращается в исходное состояние и замыкает цепь [10].

Энергопотребление цифрового модуля газовых датчиков

Общая тенденция развития приборостроения идет в направлении миниатюризации и уменьшения энергопотребления. В современных системах мониторинга используются беспроводные системы с аккумуляторным питанием. Из-за этого остро стоит вопрос уменьшения энергопотребления составных частей изделия и увеличения тем самым времени работы изделия. В газоаналитических приборах, которые контролируют горючие газы с полупроводниковыми и термокаталитическими чувствительными элементами самый энергоемкий объект — чувствительный элемент, который должен быть разогрет до рабочей температуры, достигающей 400-500 °С. В газоаналитических приборах, которые контролируют токсичные газы уже самый энергоемкий компонент — управляющий микроконтроллер и микросхема драйвера RS-485.

Энергопотребление разработанного цифрового модуля можно разделить на 2 части — активный режим и спящий режим. В активном режиме микроконтроллер STM32L011, работающий от внутреннего источника тактовых сигналов, потребляет всего 76 мкА/1 МГц тактовой частоты, в спящем режиме всего 0,29 мкА с включенными опциями

пробуждения от внешнего прерывания и UART приема посылки от микросхемы драйвера RS-485. Микросхема драйвера RS485 в активном режиме потребляет не меньше 1,1 мА, в спящем режиме всего от 10 нА до 5 мкА. К сожалению, микросхему драйвера RS-485 невозможно отключить, так как в любой момент от ведущего устройства может прийти посылка с важными данными. В спящем режиме цифровые газовые датчики потребляют менее 0,1 мА.

Заключение

На основе современной ЭКБ разработан малопотребляющий цифровой модуль газовых датчиков для системы промышленной безопасности и экологического мониторинга. Конструктивно-схемотехнические решения позволяют разработанному модулю газовых датчиков функционировать в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки на реальных промышленных объектах. Использование концепции цифровых интеллектуальных сенсоров газа позволяют значительно упростить обслуживание готовой системы мониторинга. Разработанный модуль позволяет выявлять в атмосфере взрывоопасные и токсичные газы и может использоваться в системах предотвращения аварийных ситуаций на производстве совместно с исполнительными устройствами. Системы мониторинга на основе разработанного модуля позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а также увеличивают период времени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций. Результаты работы могут быть использованы в различных отраслях производства, на предприятиях: газовой и нефтяной промышленности, нефтеперерабатывающей и химической промышленности, энергетики, горнодобывающей и угольной промышленности, металлургии, пищевой промышленности.

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.577.21.0225, уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57716X0225).

Литература

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств: пер. с англ. М.: Мир, 1989, С. 672.
2. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991, С. 432.
3. Рындин Е.А., Леньшин А.С. Методика численного моделирования спектрометрических газочувствительных сенсорных систем // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1360/.
4. Wheeler Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee // IEEE Communication Magazine, 2007, 45(4). pp. 70–77.
5. Беляев А.О., Легин А.А. Исследование вариантов организации беспроводного взаимодействия приборов учета в составе комплекса учета энергоресурсов // Инженерный вестник Дона. 2016. №4, URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_85_Belyaev_Legin.pdf_e14aa106c1.pdf.
6. Sukhanov A.V., Prokof'ev I.V., Ivanov. A.V. A universal digital platform for the construction of self-organizing Wireless sensor networks for industrial safety and ecological Monitoring systems. Russian microelectronics, 2016, vol. 45, no. 2, pp. 137–141.
7. TPS62740 Ultra-low-power 300mA Step-Down Buck DC/DC Converter // Texas Instruments URL: ti.com/product/tps62740.
8. TI Power Solutions DC/DC Converters with DCS-Control™ Topology // Texas Instruments URL: ti.com/lit/sg/slyt543a/slyt543a.pdf.



9. RS-485 Reference Guide // Texas Instruments. URL: ti.com/lit/sg/slyt484a/slyt484a.pdf

10. Signal Integrity Evaluation of Bourns Lightning Protection Solutions with High-Speed Interfaces // Texas Instruments URL: ti.com/lit/an/snla174/snla174.pdf

References

1. Marshall V. Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv: per. s angl. [The main hazards of chemical production: transl. from English]. M. Mir, 1989. p. 672.

2. Beschastnov M.V. Promyshlennye vzryvy. Ocenka i preduprezhdenie. [Industrial explosions. Evaluation and warning] M. Himiya, 1991, p. 432.

3. Ryndin E.A., Len'shin A.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. (chast' 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1360/.

4. Wheeler Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee. IEEE Communication Magazine, 2007, 45(4). pp. 70–77.

5. Belyaev A.O., Legin A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_85_Belyaev_Legin.pdf_e14aa106c1.pdf.

6. Sukhanov A.V., Prokof'ev I.V., Ivanov. A.V. Russian microelectronics, 2016, vol. 45, no. 2, pp. 137–141.

7. TPS62740 Ultra-low-power 300mA Step-Down Buck DC/DC Converter. Texas Instruments URL: ti.com/product/tps62740.

8. TI Power Solutions DC/DC Converters with DCS-Control™ Topology. Texas Instruments. URL: ti.com/lit/sg/slyt543a/slyt543a.pdf.

9. RS-485 Reference Guide. Texas Instruments URL: ti.com/lit/sg/slyt484a/slyt484a.pdf

10. Signal Integrity Evaluation of Bourns Lightning Protection Solutions with High-Speed Interfaces. Texas Instruments URL: ti.com/lit/an/snla174/snla174.pdf